Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 739-757

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۵۷-۷۳۹

مقاله پژوهشی

اثر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.)

بابک لطفی[۱]، عباس ملکی[۲*]، محمد میرزایی حیدری[۳]، محمود رستمی‌نیا[۴] و فرزاد بابایی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹

لطفی، ب.، ملکی، ع.، میرزایی حیدری، م.، رستمی نیا، م.، و بابایی، ف.، ۱۴۰۰. اثر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۷۵۷-۷۳۹.

چکیده

سطوح خاک‌ورزی و مصرف کودهای شیمیایی و زیستی نقش مهمی در رشد و عملکرد گیاهان دارند که به‌منظور بررسی تأثیر نوع شخم، سطوح اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر عملکرد و اجزای عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.)، آزمایشی در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی دره‌شهر استان ایلام به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نوع شخم با سه سطح متداول (برگردان‌دار)، حفاظتی (قلمی) و بدون شخم به‌عنوان عامل کرت اصلی، کود اوره با چهار سطح عدم مصرف (صفر درصد)، ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد کود توصیه شده به‌عنوان عامل کرت فرعی و کاربرد و عدم کاربرد با قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) به‌عنوان عامل کرت فرعی فرعی مد نظر قرار گرفتند. عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن و نیز صفات وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک، شاخص مخروطی خاک و کربن آلی خاک اندازه‌گیری شد. طبق نتایج تجزیه مرکب دو سال آزمایش اثرات ساده سال، نوع شخم کود اوره و کاربرد میکوریزا بر تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، عملکرد دانه، شاخص برداشت، کربن آلی خاک، شاخص مخروطی خاک و درصد رطوبت خاک و اثر متقابل نوع شخم و کود اوره بر عملکرد دانه و شاخص مخروطی خاک و نیز اثر متقابل نوع شخم و کاربرد میکوریزا بر شاخص برداشت و درصد رطوبت خاک معنی‌دار بود. طبق نتایج آزمون مقایسات میانگین بالاترین عملکرد دانه از تیمار شخم حفاظتی و کاربرد ۱۰۰ درصد کود اوره با ۲۹۴۱ کیلوگرم در هکتار با اختلاف معنی‌دار از سایر تیمارها به‌دست آمد. بیشترین وزن هزار دانه (۵۷/۵ گرم) از تیمار بدون شخم و بیشترین تعداد دانه در غلاف (۱۰/۶) و غلاف در بوته (۶۱) از تیمار شخم حفاظتی به‌دست آمد. بیشترین وزن هزار دانه، تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته از تیمار ۶۶ درصد کود اوره به‌دست آمد. بیشترین شاخص مخروطی خاک ۲/۲۵ مگاپاسکال از تیمار بدون شخم و مصرف ۶۶ درصد کود اوره توصیه شده و کمترین آن ۱/۰۷ مگاپاسکال از تیمار شخم متداول و عدم مصرف اوره به‌دست آمد. بدون شخم و شخم متداول به‌ترتیب با مقادیر ۰/۶۸ و ۰/۳۲ درصد بیشترین و کمترین میزان کربن آلی خاک را دارا بودند. به‌طور کلی، شخم حفاظتی همراه با کاربرد ۶۶ درصد کود اوره توصیه شده و تلقیح با میکوریزا، از نظر عملکرد دانه و اجزای آن بر سایر تیمارها برتری معنی‌دار داشت. به‌علاوه در این تیمار شاخص مخروطی خاک، درصدر طوبت خاک و محتوای کربن آلی نیز بهبود یافت.

واژه‌های کلیدی: شاخص مخروطی، قارچ همزیست، کربن آلی، نیتروژن، وزن مخصوص ظاهری

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
۴- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران.
۵- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: maleki97@yahoo.com)

Doi:10.22067/agry.2021.67873.1005

مقدمه

خاک‌ورزی یکی از عملیات مهم زراعی است که بر بخش مهمی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اثر می‌گذارد (Lapen et al., 2004). به‌علاوه خاک‌ورزی، از طریق ایجاد تغییر در خصوصیات خاک، به پایداری کشاورزی و بهبود کیفیت خاک منتهی می‌گردد (Lal, 1991). خاک‌ورزی یکی از مهم‌ترین عملیات زراعی مؤثر در تعیین خصوصیات فیزیکی (بافت و وزن مخصوص ظاهری) و هیدرولیکی (نفوذ آب و میزان رطوبت) خاک بوده (Jabro et al., 2009) و اندازه‌گیری این خصوصیات به وضعیت ساختمان خاک بستگی دارد (Gill, 2012). گوزوبیوک و همکاران (Gozubuyuk et al., 2014) با بررسی خصوصیات خاک در روش‌های خاک‌ورزی در یک خاک لومی رسی در منطقه‌ای سرد در آنتالیای ترکیه اعلام نمودند که اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک همراه با تخلخل آن برای تعیین چگونگی وضعیت ساختمان خاک بسیار مطلوب بوده و جرم مخصوص ظاهری بالا در عملیات‌های خاک‌ورزی مورد انتظار است. بر اساس نتایج مطالعات (Aikins & Afuakwa, 2012; Romaneckas et al., 2009) خاک‌ورزی متداول نسبت به بی‌خاک‌ورزی، وزن مخصوص ظاهری خاک بالاتری دارد. همچنین مطابق نتایج مطالعات مختلف، خاک‌های تحت شرایط بی‌خاک‌ورزی بالاترین مقدار رطوبت را دارند (Fernandez-Ugalde et al., 2009; Romaneckas et al., 2009). نریماتسو و همکاران (Narimatsu et al., 2014) گزارش کردند که عملکرد ذرت در نظام‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حداقل بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم است، چون خاک‌ورزی باعث بر هم خوردن چرخه زیستی ریزجانداران خاک‌زی و در نتیجه، باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود.

نیتروژن عنصر ضروری برای گیاهان است که سبب افزایش تولید ماده خشک، عملکرد دانه و اجزای آن می‌شود (Montemurro & Giorgio, 2005). کود نیتروژن به‌خصوص در شکل معدنی آن می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر روی زیست توده میکروبی خاک داشته باشد. گزارش شده است که کاربرد کودهای غیر آلی در شرایط محدودیت عناصر غذایی می‌تواند اثر محرک بر رشد میکروبی داشته باشد، به نحوی‌که کاربرد کود نیتروژن باعث تولید حجم بالاتری از زیست‌توده گیاهی تولیدی می‌شود که در صورت برگرداندن کاه و کلش و بقایای آن‌ها به خاک سوبسترای کربنی بیشتری جهت تولید انرژی برای جمعیت میکروبی فراهم می‌گردد (Treseder et al., 2008). در حالی‌که غلظت‌های زیاد کودهای شیمیایی می‌تواند اثر منفی بر خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک داشته باشد (He et al., 2013). بنابراین، لازم است بین میزان کود نیتروژن مصرفی و بقایای گیاهی موجود در خاک تعادل برقرار باشد. همچنین محققان اظهار داشتند که عملکرد گندم تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف بقایای گیاهی و میزان کود نیتروژن مصرفی قرار می‌گیرد (Sohrabi et al., 2014).

کودهای زیستی شامل ریزجانداران و متابولیت‌های آن‌ها بوده که قادر به بالابردن تولید و کیفیت گیاهان هستند. قارچ‌های میکوریزای وزیکولار- آربوسکولار (VAM)[1] یکی از انواع کودهای زیستی بوده که دارای رابطه هم‌زیستی با ریشه اکثر گیاهان زراعی می‌باشد (Gogoi & Singh, 2011). قارچ‌های میکوریزا به‌عنوان کودهای زیستی به‌دلیل نقش تنظیم‌کنندگی سبب افزایش جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف شده و با راه‌اندازی مسیرهای پیام‌رسانی سبب افزایش توان استقرار و مقاومت گیاهان در مقابل، آفات و بیماری‌ها شده و با ایجاد شبکه هیف در ریزوسفر بر اصلاح و حفظ ساختار خاک و انباشت آب در محیط ریشه مؤثر هستند (Ghanta et al., 2013). ریزجانداران خاک در چرخه عناصر غذایی نقش مهمی دارند و در فرآیند تجدید پوشش گیاهی نیز نقش به‌سزایی ایفا می‌کنند (Smith et al., 2010). مطالعات زیادی تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریزا بر رشد، جذب عناصر غذایی و عملکرد در گیاهان مختلف نشان داده‌اند (Candido et al., 2013; Sabia et al., 2015).

با توجه به اینکه انواع شخم و کودهای شیمیایی و زیستی علاوه‌براینکه نقش مهمی در تعیین عملکرد و اجزای آن دارند، خصوصیات فیزیکی خاک را نیز بسیار تحت تأثیر قرار می‌دهند و نیز به‌دلیل اینکه در حال حاضر، ظرفیت افزایش عملکرد حبوبات نظیر ماش در مقایسه با غلات فاصله‌ی زیادی تا حد نهایی مطلوب خود دارد. بنابراین، مطالعه نقش مدیریت صحیح خاک‌ورزی و کاربرد کودها در تولید آن‌ها، اهمیت می‌یابد. بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی تأثیر نوع شخم، سطوح کود اوره و کاربرد قارچ میکوریزا بر عملکرد، تولید زیست‌توده و برخی خصوصیات خاک روی گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) انجام شد.

1- Vesicular-arbuscular mycorrhiza

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی مدیریت جهادکشاورزی دره شهر واقع در استان ایلام با ارتفاع ۷۵۵ متر از سطح دریا و به عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ و ۳۷ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ انجام شد. محل آزمایش از نظر آب و هوایی و تقسیمات اقلیمی جزو مناطق نیمه خشک و نسبتا معتدل گرم محسوب می‌شود. با استناد به اطلاعات اداره هواشناسی شهرستان دره شهر متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۳۶۲ میلی‌متر می-باشد. در طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌صورت اسپیلت-اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. سه نوع شخم متداول (برگردان‌دار)، حفاظتی (قلمی) و بدون شخم به‌عنوان عامل کرت اصلی، چهار سطح کود اوره (عدم مصرف یا صفر درصد)، ۳۳، ۶۶ و ۱۰۰ درصد کود توصیه شده به‌عنوان عامل کرت فرعی و دو سطح کاربرد و عدم کاربرد با قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*) به‌عنوان عامل کرت فرعی فرعی مد نظر قرار گرفتند. مایه تلقیح از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شد. به‌منظور تعیین بافت و وضعیت عناصر غذایی خاک، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک در پاییز سال قبل از کاشت چندین نمونه تهیه و پس از تعیین وضعیت عناصر NPK در خاک، پاییز سال قبل از کشت کود فسفاته به شکل سوپرفسفات تریپل (به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

Table 1- Physical and chemical properties of the soil in experiment location (0-30 cm depth)

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH	گوگرد S (%)	سیلیسیم Si (%)	کربن آلی OC (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)
لومی-شنی Sandy loam	0.69	7.68	27	12	0.61	10	246	2.4

رقم مورد استفاده در این آزمایش گیاه ماش رقم هندی (MGG 207) بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول تهیه شد و کاشت در چهارم و هفتم تیر ماه در دو سال آزمایش انجام شد. شخم متداول شامل شخم کامل زمین پیش از کاشت با گاوآهن برگردان‌دار بود؛ در حالی‌که در شخم حداقل تنها با استفاده از گاوآهن قلمی زمین خراش داده شد. در روش بدون شخم نیز هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد. با توجه به سطح کود نیتروژن در هر تیمار (۳۳٪، ۶۶٪ و ۱۰۰٪ نیتروژن توصیه شده) کود نیتروژن به‌شکل اوره در سه مرحله، یک‌سوم قبل از کاشت به‌صورت سرک، یک‌سوم در شروع ساقه‌دهی و یک‌سوم در مرحله شروع گل‌دهی به زمین اضافه شد. میزان نیتروژن توصیه شده برای ماش ۵۰ کیلوگرم در هکتار است (Habibzadeh et al., 2015). تیمار با قارچ میکوریزا هم‌زمان با کاشت و به‌صورت نواری و در زیر بذر مصرف شد. مایه تلقیح (۲۰ گرم به‌ازای هر مترمربع) به‌صورت مخلوطی از اسپور، ریسه و قطعات جدا شده ریشه‌های آلوده حاوی قارچ میکوریزا آرباسکولار سویه *Glomus mosseae* با شمارش 10^7 تا 10^8 CFU/g در عمق دو سانتی‌متری زیر هر بذر استفاده شد. هر واحد آزمایشی دارای پنج ردیف کاشت به‌طول هفت متر و تراکم کشت ۶۰ بوته در مترمربع بود.

آبیاری مزرعه بر اساس نیاز گیاه و به‌طور متوسط هفته‌ای یک بار انجام شد. برداشت نهایی برای برآورد عملکرد دانه، یک هفته پس از رسیدگی فیزیولوژیکی (۲۵ و ۲۶ مهرماه در دو سال) (زمانی‌که دانه‌ها سفت و غلاف‌ها سیاه و خشک شده بودند) انجام شد. بدین منظور با حذف حاشیه، بوته‌های ماش از سطحی معادل دو مترمربع از سه ردیف میانی هر کرت برداشت و عملکرد دانه (بر مبنای رطوبت دانه ۱۴ درصد)، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت از نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیکی محاسبه گردید (Piggin et al., 2015). همچنین برای مطالعه اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه، در زمان برداشت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از سه ردیف میانی هر کرت پس از در نظر گرفتن حاشیه در ابتدا و انتهای ردیف‌ها انتخاب و صفات اندازه‌گیری شده و میانگین یادداشت شد.

به‌منظور تعیین تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری‌های زیر انجام گرفت.

برای تعیین وزن مخصوص ظاهری نمونه‌های دست‌نخورده خاک از عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر بعد از اجرای آزمایش در هر دو سال

آزمایش، پس از برداشت توسط استوانه‌هایی با حجم مشخص، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سپس توزین و با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Al-Shammary et al., 2018).

$$B_d=W_s/V$$ معادله (۱)

که در آن، B_d: وزن مخصوص ظاهری خاک، W_s: جرم خاک خشک و V: حجم استوانه است.

برای تعیین درصد رطوبت وزنی خاک، نمونه‌ها پس از برداشت و توزین، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و مجددا توزین و با استفاده از معادله ۲ درصد رطوبت وزنی تعیین شد.

$$M_c=100((W_w-W_d)/W_d)$$ معادله (۲)

که در آن، M_c: درصد رطوبت وزنی خاک، W_w: وزن خاک مرطوب و W_d: وزن خاک خشک (O'Kelly, 2004) می‌باشند.

شاخص مخروطی خاک معیاری از استحکام خاک می‌باشد، این شاخص به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری فشردگی خاک در اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص مخروطی خاک در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری با استفاده از دستگاه فروسنج مخروطی به‌روش بردفورد (Bradford, 1986) اندازه‌گیری شد. مقدار درصد کربن آلی خاک قبل و پس از برداشت گیاهان با استفاده از تکنیک احتراق خود به خودی در ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تعیین شد (Davis et al., 2018).

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب آزمون همگنی واریانس خطاهای آزمایشی (آزمون F هارتلی) انجام شد. زمانی که واریانس خطاهای آزمایشی از مقادیر جدول F کمتر بود، فرض H_0 پذیرفته شد که نشان‌دهنده همگن بودن واریانس‌ها است. سپس در صورت همگن بودن واریانس‌ها، داده‌های دو سال توسط نرم‌افزار SAS ver. 9.4 مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند. جهت مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر ساده سال در سطح احتمال پنج درصد، نوع شخم در سطح احتمال یک درصد و کود اوره در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش وزن هزار دانه بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). تفاوت‌های اقلیمی دو سال آزمایش (دما، بارندگی، ساعات آفتابی و...) سبب بالا بودن صفات مرتبط با عملکرد در سال دو آزمایش بوده است. مقایسه میانگین اثر ساده روش‌های شخم نشان داد که بالاترین میانگین وزن هزار دانه (۵۷/۵ گرم) از تیمار بدون شخم به‌دست آمد و تیمارهای شخم متداول و شخم حفاظتی به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). که با نتایج هالورسون و همکاران (Halvorson et al., 2000) که گزارش کردند سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با شخم حداقل منجر به کاهش وزن هزار دانه گندم گردید، متضاد بود. دلیل آن می‌تواند تفاوت در شرایط آزمایش و نحوه انجام خاک‌ورزی و ... باشد. همچنین مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کود اوره نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه معادل ۵۵/۸ گرم از تیمار کاربرد ۶۶ درصد کود اوره توصیه شده به‌دست آمده و کمترین وزن هزار دانه از تیمار کاربرد عدم مصرف کود اوره توصیه شده حاصل شد (جدول ۳). راجپوت (Rajput, 1992) گزارش داد عملکرد دانه، وزن دانه و تعداد دانه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار نیتروژن قرار می‌گیرد. کمبود نیتروژن از طریق پایین آوردن شاخص سطح برگ و نیز به هم خوردن سنتز و تخریب پروتئین، پیری زودرس برگ‌ها را سبب گردیده و با تأثیر بر آنزیم روبیسکو بر فرآیند فتوسنتز گیاه و به تبع آن روی پر شدن دانه تأثیر منفی می‌گذارد (Wolton, 2005).

تعداد دانه در غلاف: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال در سطح احتمال پنج درصد، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در غلاف ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش تعداد دانه در غلاف بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده نوع شخم نشان داد که شخم حفاظتی از نظر تعداد دانه در غلاف بر دو روش شخم دیگر برتری داشته است و بیشترین میانگین تعداد دانه در غلاف (۱۰/۶ دانه در غلاف) از این تیمار به‌دست آمد. همچنین تیمار بدون شخم کمترین تعداد دانه در غلاف (۸/۰۸ دانه در غلاف) را دارا بود (جدول ۳). همچنین مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کود اوره نشان داد که بیشترین میانگین تعداد دانه در غلاف معادل ۹/۹ دانه در غلاف از تیمار کاربرد ۶۶ درصد کود اوره به‌دست آمد که با تیمار ۱۰۰درصد کود اوره در یک گروه آماری قرار داشت. کمترین تعداد دانه در غلاف

نیز در تیمارهای ۳۳ درصد و عدم کاربرد کود اوره به‌دست آمد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که با تلقیح قارچ میکوریزا تعداد دانه در غلاف هفت درصد افزایش یافت (جدول ۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد، تعداد دانه در غلاف بیش‌تر تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است تا شرایط محیطی، ولی شرایط محیطی مثل دما، نور، آب، مواد غذایی و طول دوره رشد نیز بر آن صفت تأثیر دارند که کمبود هرکدام از عوامل فوق باعث کاهش تعداد دانه در غلاف می‌شود. به گزارش سلطانا و همکاران (Sultana et al., 2009) مصرف نیتروژن اگر چه تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف گیاه ماش را افزایش داد، امّا تأثیر آن بر تعداد غلاف در بوته بیش از تعداد دانه در غلاف بود. ارمان و همکاران (Erman et al., 2011) نیز افزایش تعداد دانه در غلاف نخود با تلقیح میکوریزا را گزارش کردند.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد شاخص برداشت ماش طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for effects of tillage, nitrogen fertilizer level and mycorrhiza on yield, yield component and harvest index in mung bean (*Vigna radiata* L.) during 2017 and 2018

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year (Y)	1	241.80*	10.20*	101.30**	190381.69**	60.46**
سال × بلوک Y× block	4	29.72	39.79	12.62	23780.44	18.28
سیستم شخم Tillage system (T)	2	567.54**	78.76**	98.62**	445876.78**	174.84**
Y× T	2	16.72ns	0.98ns	6.46ns	648.65ns	1.02ns
خطای اصلی Main error	8	41.35	3.95	11.00	9742.26	15.17
کود اوره Nitrogen fertilizer (N)	3	109.65*	19.50**	28.64**	233180.86**	160.46**
Y × N	3	9.22ns	0.084ns	11.17ns	6221.23ns	6.86ns
T× N	6	9.80ns	0.73ns	5.12ns	18933.09*	7.85ns
Y× T ×N	6	2.12ns	0.28ns	4.96ns	6254.27ns	5.98ns
خطای فرعی Sub error	36	34.85	1.052	6.63	18727.61	4.03
میکوریزا Mycorrhiza (M)	1	25.01ns	14.18**	27.93*	95997.21**	397.14**
Y ×M	1	0.36ns	0.26ns	0.10ns	54.50ns	0.18ns
T ×M	2	1.14ns	0.07ns	0.86ns	120.28ns	30.12*
Y × T × M	2	5.30ns	0.28ns	0.04ns	158.91ns	0.40ns
N × M	3	6.94ns	0.26ns	0.25ns	4838.31ns	2.94ns
Y × N × M	3	0.98ns	0.21ns	1.008ns	2028.60ns	5.85ns
T × N × M	6	5.99ns	0.20ns	1.41ns	6337.18ns	2.59ns
Y × T × N ×M	6	1.33ns	0.034ns	1.35ns	1972.32ns	5.42ns
خطای فرعی فرعی Sub-sub error	48	35.25	1.88	6.73	6829.74	6.44
ضریب تغییرات CV (%)		10.97	14.73	4.34	3	7.35

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

ns, * and **: Non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر ساده سال، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت ماش و خصوصیات خاک در دو سال ۱۳۹٦ و ۱۳۹۷

Table 3- Mean comparisons for simple effects of year, tillage, nitrogen fertilizer and mycorrhiza inoculation on yield, yield components and harvest index of mung bean and soil criteria during 2017 and 2018

تیمار Treatment	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در غلاف No. of seeds per pod	تعداد غلاف در بوته No. of pods per plant	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)	رطوبت خاک Soil moisture (%)	شاخص مخروطی خاک Soil cone index	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)
سال Year								
2017	52.82 ^{b*}	9.04 ^{b}	58.85 ^{b}	2711.6 ^{b}	35.23^{a}	14.33^{b}	1.60^{a}	0.44 ^{b}
2018	55.41 ^{a}	9.57 ^{a}	60.53 ^{a}	2784.3 ^{a}	33.94^{b}	15.45^{a}	1.54^{b}	0.49 ^{a}
سیستم شخم Tillage system								
متداول Conventional	54.25 ^{b}	9.20 ^{b}	59.84 ^{b}	2752.2^{b}	32.11^{c}	13.20^{c}	1.09^{c}	0.316 ^{c}
حفاظتی Conservation	50.61 ^{c}	10.64 ^{a}	61.04 ^{a}	2842.1^{a}	35.92^{a}	15.04^{b}	1.50^{b}	0.465 ^{b}
بدون خاک‌ورزی No tillage	57.48 ^{a}	8.08 ^{c}	58.18 ^{c}	2649.5^{c}	34.23^{b}	15.92^{a}	2.06^{a}	0.681 ^{a}
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer rate (%)								
100	55.42 ^{ab}	9.93 ^{a}	59.89 ^{ab}	2819.4^{a}	31.41 ^{c}	16.31 ^{a}	1.49^{c}	0.561 ^{a}
66	55.81 ^{a}	9.94 ^{a}	60.84 ^{a}	2814.7^{a}	33.39 ^{b}	15.01 ^{b}	1.65^{a}	0.532 ^{a}
33	52.67 ^{b}	8.77 ^{b}	59.25 ^{b}	2692.3^{b}	35.95 ^{a}	14.38 ^{b}	1.58^{b}	0.460 ^{b}
0	52.54 ^{b}	8.57 ^{b}	58.78 ^{b}	2665.6^{b}	35.58 ^{a}	13.17 ^{c}	1.49^{c}	0.398 ^{c}
تلقیح با قارچ میکوریزا Mycorrhiza inoculation								
بدون تلقیح Without inoculation	53.31^{a}	8.99 ^{b}	59.25 ^{b}	2722.2^{b}	32.43^{b}	14.40^{b}	1.53 ^{b}	0.473 ^{b}
با تلقیح With inoculation	53.82^{a}	9.62 ^{a}	60.13 ^{a}	2773.8^{a}	35.75^{a}	15.05^{a}	1.58 ^{a}	0.502 ^{a}

* در هر ستون و برای هر جزء، میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* In each column and for each component, means with similar letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

تعداد غلاف در بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال یک درصد و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد غلاف در هر بوته ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش تعداد غلاف در بوته بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده نوع نوع شخم نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد غلاف در بوته با ۶۱ و ۵۸/۲ غلاف در بوته به‌ترتیب از نوع شخم حفاظتی و بدون نوع شخم به‌دست آمد (جدول ۳). باقی ماندن بقایا باعث افزایش ماده‌ی آلی، نیتروژن، بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش تبادلات گازی و افزایش فعالیت ریزجانداران خاک منتهی می‌شود که در نهایت، باعث بهبود اجزای عملکرد شده و در نهایت، باعث افزایش عملکرد دانه ماش می‌گردد. همت و اسکندری (Hemmat & Eskandari, 2004) در کشت زمستانه گندم گزارش کردند که دو روش بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی تعداد سنبله در مترمربع بیشتری را دارا بودند که منجر به عملکرد دانه بالاتر نسبت به خاک‌ورزی متداول شد. مقایسه میانگین اثر ساده سطوح کود نیتروژن نشان داد که بیشترین میانگین تعداد غلاف در بوته از تیمار ۶۶ درصد کود اوره به‌میزان ۶۰/۸ غلاف در بوته به‌دست آمد و کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمار عدم مصرف کود اوره مشاهده شد که البته با تیمار ۳۳ درصد کود اوره از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۵). از آنجا که مصرف کود اوره زمانی بوده که غلاف در حال تشکیل شدن بود، بنابراین، موجب افزایش تعداد غلاف‌های تولیدی شده است. مقایسه میانگین اثر ساده تلقیح با قارچ میکوریزا نیز نشان داد که با تلقیح قارچ میکوریزا، میانگین تعداد غلاف در بوته ۱/۵ درصد افزایش یافت (جدول ۳). در ماش عملکرد بالا در برخی ارقام و تیمارها مرهون تعداد غلاف زیاد و در برخی دیگر نتیجه تعداد زیاد دانه در غلاف یا تولید دانه‌های سنگین‌تر و یا ترکیبی از این عوامل می‌باشد. تورک و همکاران (Turk et al., 2003) بیان کردند که فراهم بودن شرایط مطلوب محیط مانند نور، رطوبت و عناصر غذایی به‌خصوص در فاز زایشی گیاه باعث می‌شود که گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را تولید نموده و با تخصیص این مواد به اندام‌های زایشی عملکرد دانه را به‌طور مستقیم افزایش دهد.

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل کود اوره و شخم در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که در سال دوم آزمایش عملکرد دانه بالاتر از سال اول بود که این امر به‌دلیل بالا بودن اجزای عملکرد در سال دوم بود (جدول ۳). این امر نشان دهنده تأثیرپذیری پتانسیل عملکرد ماش از شرایط محیطی می‌باشد، چرا که شرایط اقلیمی (دما و بارندگی) دو سال آزمایش تا حدودی با هم تفاوت داشت و در سال دوم مرحله گل‌دهی ماش با دماهای پایین‌تر (خنک‌تر) مواجه شد. مقایسه میانگین اثر متقابل کود اوره و شخم نشان داد که بالاترین عملکرد دانه از شخم حفاظتی با کاربرد ۱۰۰ درصد کود اوره به‌دست آمد، که با تیمار ۶۶ درصد کود اوره از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت (جدول ۴). دلیل این امر می‌تواند به‌خاطر تأثیر مستقیم نیتروژن در افزایش شاخص سطح برگ سایه‌انداز گیاهی و در نتیجه، افزایش میزان تابش دریافت شده (Ercoli et al., 2008) باشد، زیرا کمترین میزان عملکرد دانه از روش بدون شخم و عدم مصرف کود اوره به‌دست آمد (جدول ۴). این موضوع در طول مدت آزمایش به‌خوبی از مقایسه کرت‌های آزمایشی با مقادیر مختلف نیتروژن مشهود بود. بوته‌های کرت‌های بدون نیتروژن دارای رنگ سبز روشن‌تر و رشد کندتری بودند. پایین بودن نیتروژن از طریق کاهش شاخص سطح برگ و به هم خوردن فرآیند سنتز و تخریب پروتئین، سبب پیری زودرس برگ‌ها شده و فتوسنتز کاهش می‌یابد (Wolton, 2005). وجود بقایای گیاهی در سطح خاک می‌تواند مانع اتلاف رطوبت خاک شده و فرصت کافی برای استفاده ریشه‌ها از کود نیتروژن مصرف شده را فراهم سازد (Cook & Hauguland, 1991). محمد و همکاران (Mohammad et al., 2012) با بررسی اثر بقایای گیاهی و روش خاک‌ورزی بر گندم گزارش نمودند که حفظ بقایای گیاهی سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به روش خاک‌ورزی متداول می‌شود.

در خصوص تأثیر نوع شخم بر رشد و عملکرد نتایج متناقضی گزارش شده است. نتایج مطالعه پنج ساله کیهارا و همکاران (Kihara et al., 2012) نشان داد که عملکرد سویا در هر دو نظام خاک‌ورزی کاهش یافته و رایج برابر بود؛ در حالی‌که عملکرد ذرت در مقایسه دو سیستم در خاک‌ورزی رایج بالاتر محاسبه گردید. برخی محققان نیز اظهار داشتند که عملیات خاک‌ورزی حداقل اثرات نامطلوب سیستم-

های خاک‌ورزی رایج را بر خاک و گیاه کاهش داده و عملکردی مشابه با سیستم‌های خاک‌ورزی رایج تولید می‌کند (Grabowski et al., 2014). البته گاهی کاهش عملکرد در شرایط اجرای خاک‌ورزی حفاظتی نیز گزارش شده است که به کاهش رشد گیاه در شرایط محدودیت محتوی رطوبتی خاک نسبت داده می‌شود (Seddaiu et al., 2016). در همین راستا، هالورسون و همکاران (Halvorson et al., 1999) گزارش نمودند که تیمار خاک‌ورزی کاهش یافته میزان مصرف نیتروژن در هکتار را ۱۰۰-۵۰ کیلوگرم تقلیل داد و موجب حصول عملکرد بالاتر در این سیستم خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی فشرده گردید. ریگر و همکاران (Rieger et al., 2008) نتیجه گرفتند که عملکرد دانه گندم در نظام بدون خاک‌ورزی کمتر از خاک‌ورزی رایج بود. از طرف دیگر، نریماتسو و همکاران (Narimatsu et al., 2014) با بررسی تأثیر نظام‌های خاک‌ورزی مرسوم، خاک‌ورزی حفاظتی و بدون خاک‌ورزی را بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گزارش کردند که عملکرد در نظام‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از خاک‌ورزی متداول است، چون خاک‌ورزی باعث بر هم خوردن چرخه‌های زیستی ریزجانداران (میکروارگانیسم‌های) خاکزی و در نتیجه، باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود. علاوه‌براین، افزایش نسبی عملکرد در شرایط اجرای خاک‌ورزی کاهش یافته به محتوی رطوبتی بالاتر خاک نسبت داده شده است (Mu et al., 2016). به‌طور کلی، اگر چه خاک‌ورزی متداول با هدف حذف علف‌های هرز، فراهمی بهتر عناصر غذایی و رطوبت در خاک، مخلوط شدن کودها با خاک انجام می‌شود (Palese et al., 2014)، ولی بررسی‌ها نشان می‌دهد اجرای خاک‌ورزی حفاظتی اثر منفی بر عملکرد ندارد، زیرا افزایش ماده آلی اثر مثبتی بر ظرفیت نگهداری آب در خاک و فراهمی عناصر غذایی در خاک دارد (Almagro et al., 2016; Garcia-Franco et al., 2015). البته اثر منفی اجرای برخی سیستم‌های بدون خاک‌ورزی بر عملکرد به فشردگی خاک، تهویه کم و کاهش سرعت معنی‌شدن نیتروژن نسبت داده شده است (López-Garrido et al., 2014; MartínezMena et al., 2013). پیتلکوف و همکاران (Pittelkow et al., 2020) طی متاآنالیز جهانی اثر گونه‌های مختلف گیاهی و متغیرهای اقلیمی بر عملکرد در سیستم‌های بدون خاک‌ورزی، این سیستم‌ها را به‌عنوان بهترین سیستم‌ها برای مناطق خشک و نیمه‌خشک و تحت شرایط دیم‌کاری معرفی نمودند و اظهار داشتند که در این سیستم‌ها عملکردی معادل با سیستم‌های خاک‌ورزی فشرده و حتی بالاتر نیز تولید می‌شود.

مقایسه میانگین اثر ساده کاربرد قارچ میکوریزا نشان داد که تلقیح با میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (جدول ۳). ایلباس و سهین (Ilbas & Sahin, 2005) گزارش کردند که تلقیح سویا با قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن هزار دانه و عملکرد دانه شد. آروموگام و همکاران (Arumugam et al., 2010) نیز گزارش کردند که تلقیح قارچ میکوریزا با گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) سبب افزایش عملکرد و اجزای آن شد. قارچ میکوریزا با افزایش رشد ریشه‌های جانبی سبب افزایش جذب مواد غذایی بیشتری شده که به نوبه خود باعث افزایش رشد رویشی و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در غلاف و تعداد غلاف در بوته می‌شود.

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر شاخص برداشت ماش معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که شاخص برداشت در سال اول آزمایش بالاتر از سال دوم بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا نشان داد که بیشترین شاخص برداشت با ۳۸/۴۵ درصد از تیمار شخم حفاظتی و تلقیح با میکوریزا به‌دست آمده و کمترین شاخص برداشت (۳۳/۲۵ درصد) نیز به تیمار بدون شخم و عدم تلقیح قارچ میکوریزا تعلق داشت (جدول ۵). هوشیار و اسماعیل‌پور (Houshyar & Esmailpour, 2020) گزارش نمودند که شاخص برداشت گندم تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی قرار نگرفت. همزیستی میکوریزایی با افزایش فراهمی و جذب فسفر و نیتروژن مورد نیاز و بهبود شرایط فیزیکی خاک، ضمن ایجاد محیط مناسب رشد ریشه، موجب افزایش رشد اندام‌های هوایی نظیر ساقه، برگ و غلاف و نهایتاً بهبود شاخص برداشت شده است. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کود اوره نشان داد که بیشترین شاخص برداشت با مصرف ۳۳ درصد کود اوره توصیه شده به‌دست آمد (جدول ۳). علت بالاتر بودن شاخص برداشت در این تیمار، احتمالاً پایین بودن میزان عملکرد بیولوژیکی آن نسبت به عملکرد دانه بود. همچنین بحرینی و همکاران (Bahrani et al., 2013) گزارش کردند که افزایش میزان نیتروژن باعث افزایش توزیع مجدد مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شد. بنابراین، به نظر می‌رسد کاربرد

نیتروژن سبب تحریک فرآیند انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از اندام‌های رویشی به دانه‌ها شده و از این طریق شاخص برداشت را افزایش داده است.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع شخم و کود نیتروژن بر عملکرد ماش و شاخص مخروطی خاک

Table 4- Mean comparisons for interaction between tillage and nitrogen fertilizer on yield of mung bean and soil cone index

نوع شخم Tillage system	سطح کود نیتروژن Nitrogen level (%)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص مخروطی خاک Soil cone index (Mpa)
متداول Conventional	100	2775.8 $^{b-d*}$	1.13 ^{g}
	66	2811.4 ^{b}	1.10 ^{g}
	33	2718.1 ^{de}	1.09 ^{g}
	0	2703.7 ^{e}	1.07 ^{g}
حفاظتی Conservation	100	2940.9 ^{a}	1.46 ^{ef}
	66	2911.8 ^{a}	1.61 ^{d}
	33	2804.1 ^{bc}	1.55 ^{de}
	0	2711.9 ^{de}	1.38 ^{f}
بدون خاک‌ورزی No tillage	100	2741.4 $^{c-e}$	1.89 ^{c}
	66	2720.8 ^{de}	2.25 ^{a}
	33	2554.9 ^{f}	2.11 ^{b}
	0	2581.1 ^{f}	2.02 ^{b}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

*In each column, means with similar letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا بر شاخص برداشت ماش و درصد رطوبت خاک

Table 5- Mean comparisons for interaction effect between tillage and mycorrhiza inoculation on harvest index of mung bean and soil moisture

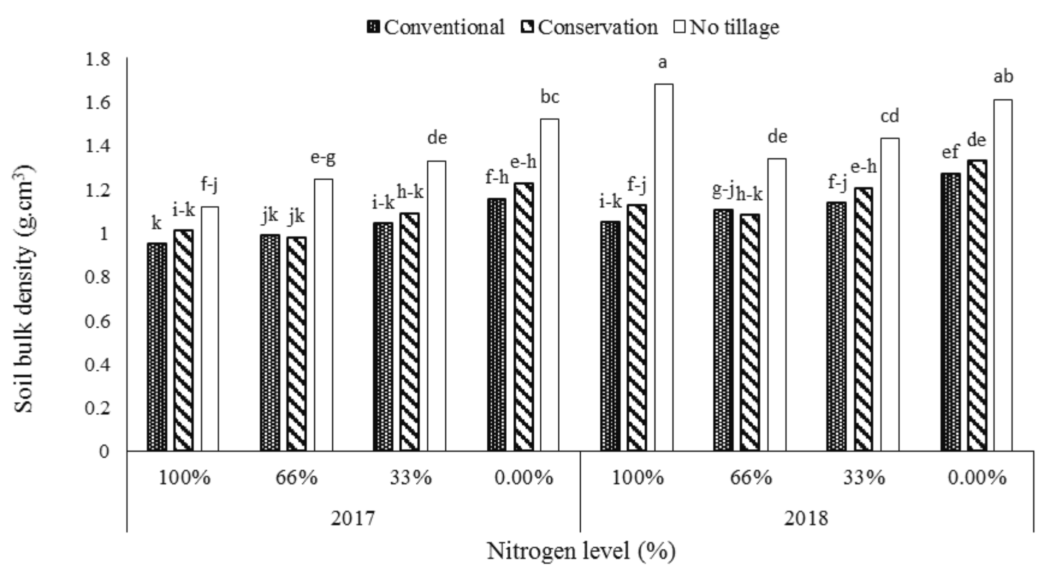
تلقیح با میکوریزا Mycorrhiza inoculation	نوع شخم Tillage systems	شاخص برداشت Harvest index (%)	رطوبت خاک Soil moisture (%)
عدم تلقیح Without inoculation	متداول Conventional	30.64 ^{d*}	12.38 ^{d}
	حفاظتی Conservation	33.39 ^{c}	14.84 ^{bc}
	بدون شخم No tillage	33.25 ^{c}	15.90 ^{a}
با تلقیح With inoculation	متداول Conventional	33.58 ^{c}	14.01 ^{c}
	حفاظتی Conservation	38.45 ^{a}	15.23 ^{ab}
	بدون شخم No tillage	35.20 ^{b}	15.92 ^{a}

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* In each column, means with similar letter(s) have not significantly different based on Duncan's test at 5% probability level.

وزن مخصوص ظاهری خاک: یکی از مناسب‌ترین شاخص‌های مورد استفاده ارزیابی تراکم خاک تحت تأثیر تیمارهای خاک‌ورزی، اندازه‌گیری وزن مخصوص ظاهری خاک بوده که تقریباً همیشه بر اثر خاک‌ورزی تغییر می‌نماید (Romaneckas et al., 2009). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل سه‌گانه سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال پنج درصد بر وزن مخصوص ظاهری خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل

سال، نوع شخم و کود اوره نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک در سیستم بدون شخم بالاترین مقادیر را نسبت به بقیه انواع شخم دارا بود (شکل ۱). بیشترین وزن مخصوص ظاهری خاک معادل ۱/۶۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب در تیمار بدون شخم و مصرف ۱۰۰ درصد اوره، در سال دوم آزمایش به‌دست آمد. کمترین میزان آن نیز معادل ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب از تیمار شخم متداول و مصرف ۱۰۰ درصد اوره، در سال اول آزمایش به‌دست آمد (شکل ۱). برخی مطالعات نشان می‌دهد که خاک‌ورزی اثر معنی‌داری بر وزن مخصوص ظاهری خاک ندارد (Shirani et al., 2002)؛ در حالی‌که شدت خاک‌ورزی این شاخص فیزیکی را در عمق ۳-۲ متری به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (Mosaddeghi et al., 2009). نتایج مطالعه‌ای در چین نشان داد که وزن مخصوص ظاهری خاک با افزایش عمق خاک افزایش یافت (Mu et al., 2016). نتایج مطالعه-ای شش ساله در چین نیز نشان داد که خصوصیات خاک تحت تأثیر سیستم خاک‌ورزی و وزن مخصوص ظاهری و جمعیت میکروبی خاک تحت تأثیر فشردگی خاک‌ورزی قرار گرفت (Luo et al., 2017). مک- وایا و همکاران (Mc-Vaya et al., 2006) نیز نشان دادند که وزن مخصوص ظاهری تحت تأثیر به‌کارگیری روش متداول خاک‌ورزی و گاوآهن برگردان‌دار به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین الاویی (Olaoye, 2002) و سکواکوا و دیکینیا (Sekwakwa & Dikiniya, 2012) نیز یافته‌هایی مشابه را گزارش نمودند. کاهش تراکم خاک در تیمارهای بدون خاک‌ورزی احتمالاً به‌دلیل کاهش تعداد دفعات تردد تراکتور و دیگر ادوات کشاورزی و در مجموع، عملیات زراعی کمتر، افزایش نفوذپذیری آب در اثر حفظ بقایای گیاهی، سست و پوک شدن خاک افزایش تدریجی مواد آلی می‌باشد. از آنجا که رابطه وزن مخصوص ظاهری با خلل و فرج خاک، معکوس است، اجرای خاک‌ورزی فشرده با بر هم زدن خاک موجب ایجاد تخلل و کاهش وزن ظاهری خاک در مقایسه با خاک‌ورزی‌های متوسط و حداقل شده است.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل سال، نوع شخم و کود اوره بر وزن مخصوص ظاهری خاک

Fig. 1- Mean comparisons for interaction effect between years, tillage system and nitrogen fertilizer on soil bulk density

درصد رطوبت خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال در سطح احتمال یک درصد، نوع شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا و نیز اثر متقابل نوع شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر درصد رطوبت خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که درصد رطوبت خاک در سال دوم آزمایش بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر کود اوره نشان داد که بیشترین میزان رطوبت خاک (۱۶/۳۱ درصد) از تیمار مصرف ۱۰۰ درصد اوره توصیه شده و

کمترین آن (۱۳/۱۷ درصد) از تیمار عدم مصرف اوره بـه‌دسـت آمـد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نوع شـخم و تلقـیح بـا قـارچ میکوریزا نیـز نشـان داد کـه در مجمـوع، میـزان رطوبـت خـاک در تیمارهای بدون شخم بیشترین و در تیمـار شـخم متـداول کمتـرین است. در تیمار بدون شخم حفظ بقایای گیاهی و تجزیه آن‌ها، ذخیره بیشتر رطوبت و عدم دستکاری در لایه سطحی زیرین خاک، احتمالاً باعث افزایش درصد رطوبت خاک گردیده است. سـینگ و همکـاران (Singh et al., 2007) نیز نشان دادند که خاک‌ورزی حداقل منجـر به افزایش میزان رطوبـت خـاک مـی‌گـردد. هالورسـون و همکـاران (Halvorson et al., 2000) گزارش نمودند که استفاده از خاک‌ورزی متداول به افزایش تلفات رطوبت خاک در نهایت، به کاهش عملکـرد دانه منجر می‌گردد. در مقابل، سیستم‌های بدون خاک‌ورزی منجر به کاهش تبخیر و رواناب گردیده‌اند. محققان زیادی نیز در مطالعات خود برای حفظ رطوبت خاک در شرایط دیم، بـه‌کـارگیری سیسـتم‌هـای خاک‌ورزی حفاظتی (به‌ترتیب بدون خاک‌ورزی و کـم‌خـاک‌ورزی) را توصیه نموده‌اند، زیرا حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و تسهیل در نفوذ نزولات جوی، موجب می‌شود رطوبت در لایه‌های زیرین خـاک ذخیره گـردد (Sudheesh et al., 2014; Fernandez-Ugalde et al., 2009; Brenton et al., 2012). علاوه‌بر اینکـه سیسـتم‌هـای خاک‌ورزی فشرده تشدید تغییر اقلیم و تخریب خاک را به دنبال دارد، در درازمدت نیز به‌کارگیری این مدیریت زراعی می‌تواند تهدیدی برای پایداری سیستم‌های زراعی محسوب شـود (Morugán-Coronado et al., 2020). بر این اساس، از آنجا که اجرای عملیات خـاک‌ورزی حفاظتی موجب کاهش فشردگی خاک در سیستم‌های زراعی رایج در مقایسه با سیستم گیاه – آیش در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Halvorson et al., 2001) که این امر در کوتـاه‌مـدت و بلندمـدت خصوصیات فیزیکی خاک به‌ویژه وزن مخصـوص ظـاهری را تحـت تأثیر قرار می‌دهد، ترویج و توسعه به‌کارگیری این سیستم خاک‌ورزی در شرایط اقلیمی کشور که نیازمند مدیریت مطلوب منابع به‌ویژه خاک و آب می‌باشد، توصیه می‌شود.

همچنین مقایسه میانگین اثـر متقابـل نشـان داد کـه بـا تلقـیح میکوریزا درصد رطوبت خاک افزایش یافـت. امّـا میـزان افـزایش در روش‌های مختلف شخم یکسان نبوده است؛ به‌طـوری‌کـه بیشـترین افزایش در تیمار شخم متداول مشاهده شد (جدول ۵). بیشترین درصد رطوبت خاک از تیمار بدون شخم و تلقیح با قارچ میکوریزا و کمترین درصد رطوبت خاک از تیمار شـخم متـداول و عـدم تلقـیح بـا قـارچ میکوریزا به‌دست آمد (جدول ۵). اگر چه درصد رطوبت خاک می‌تواند تا حدودی متأثر از شرایط محیطی (زمان و میزان بارنـدگی در زمـان نمونه‌برداری) باشد، ولی ذخیره شدن بیشتر رطوبت در تیمارهای ذکر شده احتمالاً در اثر کاهش تراکم خـاک و افـزایش مـواد آلـی در آن، حفظ بقایای گیاهی، جلوگیری از تبخیر و مهـار نمـودن بـاران و آب آبیاری در سطح مزرعه می‌باشد. از طرفی، بـه نظـر مـی‌رسـد قـارچ میکوریزا با افزایش جذب آب به‌دلیل افزایش سطح جذب‌کننده و توان جذبی بیشتر هیف‌ها نسبت به سیستم ریشه‌ای میزان رطوبت خاک را افزایش داده است.

شاخص مخروطی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده سال، نوع شخم و کود اوره در سطح احتمال یـک درصـد و تلقیح با قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد و نیز اثـر متقابـل نوع شـخم و کـود اوره در سـطح احتمـال یـک درصـد بـر شـاخص مخروطی خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که شاخص مخروطی خاک در سال اول آزمـایش بـالاتر از سال دوم بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نوع اوره و کـود اوره نشان داد که به‌کارگیری شخم سبب کاهش شاخص مخروطـی خاک شد (جدول ۴). بیشترین شاخص مخروطی خاک معـادل ۲/۲۵ مگاپاسکال از تیمار بدون اوره و مصرف ۶۶ درصد کـود اوره توصـیه شده و کمترین آن معادل ۱/۰۷ مگاپاسـکال از تیمـار اوره متـداول و عـدم مصـرف اوره بـه‌دسـت آمـد (جـدول ۴). شـیرانی و همکـاران (Shirani et al., 2002) نیز نشـان دادنـد کـه اسـتفاده از گـاوآهن برگردان‌دار (خاک‌ورزی متداول) منجر به کاهش شـاخص مخروطـی می‌گردد. مقایسه میانگین اثر تلقیح با قارچ میکـوریزا نشـان داد کـه تلقیح با قارچ میکوریزا توانست شاخص مخروطـی خـاک را تـا ۳/۲۶ درصد افزایش دهد (جدول ۳). علت آن را می‌توان به تولید ریسه‌های قارچ نسبت داد. ریسه‌های قارچ می‌توانند تا فاصله چند سانتی‌متری از سطح ریشه گسترش یافته و به این ترتیب یک شبکه منشعب‌شـده از ریسه‌های قـارچی درون خـاک و فراریشـه گیـاه تشـکیل مـی‌شـود (Wilson et al., 2009)، شبکه گسترده ریسه‌ها و ترشح گلومالین در کمک به پایداری خـاک‌دانـه نقـش مهمـی دارنـد (Bedini et al., 2009).

کربن آلی خاک: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سـاده سال، سیستم‌های خاک‌ورزی، کود نیتروژن و تلقیح با قارچ میکـوریزا

در سطح احتمال یک درصد بر میزان کربن آلی خاک معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر ساده سال نشان داد که کربن آلی خاک در سال دوم آزمایش بالاتر از سال اول بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سیستم‌های خاک‌ورزی نشان داد که سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی متداول به‌ترتیب با ۰/۶۸ و ۰/۳۲ درصد بیشترین و کمترین میزان کربن آلی خاک را دارا بودند (جدول ۳). رایت و همکاران (Wright et al., 2007) نشان دادند که افزایش عمق خاک‌ورزی که در خاک‌ورزی متداول اتفاق می‌افتد، منجر به کاهش درصد کربن آلی خاک می‌گردد. برخی پژوهشگران (Lou et al., 2012) در آزمایشات خود به افزایش کربن آلی خاک در اثر حفاظت فیزیکی خاک (حفظ بقایای گیاهی)، افزایش خلل و فرج خاک، تجزیه شدن تدریجی بقایای گیاهی رسیده بودند که با نتایج این مطالعه هم‌خوانی دارد. نتایج برخی مطالعات نیز روی فراتحلیل تغییرات خصوصیات خاک تحت تأثیر فشردگی سیستم‌های خاک‌ورزی نشان می‌دهد که اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر محتوی کربن آلی خاک در کوتاه‌مدت معنی‌دار نمی‌باشد (Morugán-Coronado et al., 2020). همچنین کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2015) خاک‌ورزی کاهش یافته اثر معنی‌داری بر محتوی کربن آلی و نیتروژن خاک در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک نداشت. البته نتایج متاآنالیز تأیید می‌نماید که خاک‌ورزی حفاظتی و کوددهی آلی موجب بهبود خصوصیات کیفی خاک، حاصلخیزی و حفظ پوشش گیاهی بالای سطح آن می‌شود که می‌تواند به‌طور مستقیم مجدداً خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه‌براین، کاهش شدت خاک‌ورزی به‌طور مؤثری کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، افزایش ترسیب کربن در خاک و بهبود محتوی آب قابل دسترس خاک را نیز به همراه دارد (Wolff et al., 2018). از طرف دیگر، خاک‌ورزی فشرده موجب تسریع و تشدید فرسایش و افت محتوی کربن آلی خاک می‌شود (Chamizo et al., 2017). سایر بررسی‌ها نیز تأیید نموده است که سیستم‌های خاکوزی افزایش معدنی شدن ماده آلی خاک را موجب می‌شوند که تلفات کربن را تشدید می‌نماید و فراهمی نیتروژن را افزایش می‌دهد (Mbuthia et al., 2015; Oberholzer et al., 2014).

مقایسه میانگین اثر ساده سطح نیتروژن نشان داد که بیشترین میزان کربن آلی در سطح ۱۰۰ درصد نیتروژن وجود داشت که با تیمار ۶۶ درصد نیتروژن از نظر آماری در یک گروه قرار گرفت. همچنین کمترین میزان کربن آلی نیز در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن مشاهده شد (جدول ۳). محققان گزارش کردند که یکی از راهکارهای مؤثر جهت تجزیه بقایا استفاده از کود نیتروژن متناسب با افزایش کاربرد بقایا است (Singh et al., 2004). به عبارت دیگر، لازم است نسبت کربن به نیتروژن متناسب باشد. احتمالاً علت بالا بودن محتوی کربن آلی خاک در تیمارهای مصرف نیتروژن، نیز همین موضوع است. تلقیح با قارچ میکوریزا درصد کربن آلی خاک را از ۰/۴۷ درصد به ۰/۵۰ درصد افزایش داد (جدول ۳). لیانگ و همکاران (Liang et al., 2005) نشان دادند که مصرف کود آلی (مصرف کاه و کلش و کود سبز) در اطراف ریزوسفر و یا خارج از ریزوسفر سرعت تنفس را در ریزوسفر توده خاک افزایش و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، فسفاتاز و دهیدروژناز و همچنین جذب عناصر غذایی توسط گیاه را بهبود داده و تأثیر قابل توجهی در فعالیت میکروبی و فعالیت آنزیمی داشته و در نتیجه، درصد کربن آلی خاک به‌دلیل فراوانی ریزجانداران افزایش یافته است. کریستنسن و همکاران (Kristensen et al., 2003) اظهار داشتند که مخازن میکروبی خاک به عنوان منبع ناپایدار نیتروژن محسوب شده و تحت تأثیر خاک‌ورزی آزاد می‌شود. علاوه‌براین، سیستم خاک‌ورزی از طریق عمق بر هم زدن خاک، عمق توزیع نیتروژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد که این امر می‌تواند به‌صورت غیرمستقیم از طریق تأثیر بر سرعت تجزیه کربن آلی، محتوی آن را تحت تأثیر قرار دهد. خاک‌ورزی حفاظتی بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، حفاظت منابع و آب و جلوگیری از افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را نیز موجب می‌گردد (Almagro et al., 2016; Simoes et al., 2014). اگر چه کشاورزان معمولاً با هدف افزایش نفوذپذیری آب، کاهش رشد علف‌های هرز و بهبود خصوصیات خاک خاک‌ورزی‌های فشرده را اعمال می‌کنند، ولی اجرای این عملیات زراعی در درازمدت کاهش ثبات خاکودانه‌ها، کاهش جمعیت ریزجانداران خاکزی، و افزایش حساسیت خاک به فرسایش را به دنبال دارد (García-Díaz et al., 2018; Ruiz-Colmenero et al., 2013). علاوه‌بر اینکه به‌کارگیری خاک‌ورزی فشرده می‌تواند به‌دلیل تحریک اکسیداسیون ماده آلی به‌واسطه تنفس هوازی این ریزجانداران، تلفات کربن آلی و افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را موجب می‌گردد (Palese et al., 2014). خاک‌ورزی حفاظتی افزایش کربن آلی را از طریق کاهش معدنی شدن ماده آلی و همچنین افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک باعث می‌شود

(Almagro et al., 2016; Garcia-Franco et al., 2015). بر ایـن اساس، از آنجا که کارکردهای خاک حمایت‌کننـده و پشـتیبان سـایر خدمات اکوسیستم و تعیین‌کننده کیفیت خاک می‌باشد (Zornoza et al., 2015)، اجرای نظام‌های کم‌خاک‌ورزی با حداقل دستکاری و بر هم زدن خاک می‌تواند علاوه‌بر بهبود خدمات و کارکردهـای خـاک، سایر کارکردهای سیستم‌های زراعی را نیز تقویـت و ثبـات تولیـد را تضمین نماید.

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر شخم، کود اوره و تلقیح با قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک طی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

Table 6- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of tillage systems, nitrogen levels and mycorrhiza inoculation on soil physical and chemical characteristics during 2017 and 2018

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	درصد رطوبت Moisture percentage	شاخص مخروطی Cone index	کربن آلی Organic carbon
سال Year (Y)	1	0.730**	35.79**	0.14**	0.48**
سال × بلوک Y× block	4	0.044	5.845	0.006	0.0008
سیستم شخم Tillage system (T)	2	1.48**	92.450**	11.352**	1.617**
Y× T	2	0.044ns	2.135ns	0.0003ns	0.0012ns
خطای اصلی Main error	8	0.016	3.219	0.0316	0.010
کود اوره (N) Nitrogen fertilizer (N)	3	0.372**	61.808**	0.222**	0.195**
Y × N	3	0.055ns	0.304ns	0.00017ns	0.0033ns
T× N	6	0.016ns	1.889ns	0.0945**	0.006ns
Y× T ×N	6	0.055*	0.801ns	0.00004ns	0.0015ns
خطای فرعی Sub error	36	0.007	3.502	0.0079	0.0033
میکوریزا (M) Mycorrhiza (M)	1	0.004ns	15.98*	0.0950*	0.030**
Y ×M	1	0.00006ns	0.032ns	0.00002ns	0.000058ns
T ×M	2	0.0004ns	8.776*	0.000017ns	0.00085ns
Y × T × M	2	0.0002ns	0.481ns	0.0000007ns	0.00004ns
N × M	3	0.0017ns	2.388ns	0.0013ns	0.0014ns
Y × N × M	3	0.00005ns	0.846ns	0.00004ns	0.00007ns
T × N × M	6	0.0034ns	0.392ns	0.0045ns	0.0005ns
Y × T × N ×M	6	0.00012ns	0.432ns	0.00002ns	0.000019ns
خطای فرعی فرعی Sub-sub error	48	0.018	2.722	0.016	0.0041
ضریب تغییرات CV (%)		11.09	11.12	8.08	13.59

ns، * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

ns and * and **: non-significant, and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که انتخاب روش درست تقسیط، زمان مصرف و نوع کودهای نیتـروژن، در کنـار حضـور مقـدار مناسـبی از بقایای گیاهی، نیاز گیاه به کودهای شیمیایی را مرتفـع سـاخته و در عین‌حال، از آلودگی محـیط زیسـت و تجمـع نیتـرات در انـدام‌هـای مصرفی گیاهان نیز جلوگیری می‌کند. تلقیح با قارچ میکـوریزا سـبب افزایش عملکرد دانه و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک شـد. بـه‌طـور کلی، شخم حداقل و بدون شخم دارای مزیت‌هایی در مقایسه با شخم متداول هستند، کـه کـاربرد آن‌هـا را توجیـه مـی‌کنـد. طبـق نتـایج روش‌های شخم حفاظتی همراه با کـاربرد ۶۶ درصـد کـود نیتـروژن توصیه شده، در اغلب صفات مورد بررسی از جمله عملکـرد و صـفات

مرتبط با آن بر سایر تیمارها برتری معنی‌داری داشت. ضمن اینکه در این تیمار بهبود ساختمان فیزیکی خاک و محتوای کربن آلی نیز مشاهده شد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود تا با بهره‌گیری از راهکارهای مدیریت زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون ایران به‌ویژه روش شخم کاهش یافته و هم‌زیستی میکوریزایی سعی شود خصوصیات خاک را بهبود بخشید.

References

Aikins, S.H.M., and Afuakwa, J.J., 2012. Effect of four different tillage practices on soil physical properties under cowpea. The Agriculture and Biology Journal of North America 3: 17-24.

Almagro, M., de Vente, J., Boix-Fayos, C., García-Franco, N., Melgares de Aguilar, J., González, D., Solé-Benet, A., and Martínez-Mena, M., 2016. Sustainable land management practices as providers of several ecosystem services under rainfed mediterranean agroecosystems. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 21: 1029-1043.

Al-Shammary, A.A.G., Kouzani, A.Z., Kaynak, A., Khoo, S.Y., Norton, M., and Willgates, W.G.M., 2018. Soil bulk density estimation methods: A Review. Pedosphere 28(4): 581-596.

Arumugam, R., Rajasekaran, S., and Nagarajan, S.M., 2010. Response of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium* inoculation on growth and chlorophyll content of *Vigna unguiculata* (L.) Walp var. The Journal of Applied Sciences and Environmental Management 14(4): 113–115.

Bahrani, A., Hamedi, S., and Tadayon, M.S., 2013. Response of wheat and barley to nitrogen and drought stress. Journal of Plant Ecophysiology 5: 1-14. (In Persian with English Summary)

Bedini, S., Pellegrion E., Avio, L., Pellegrini, S., Bazzoffi, P., Argese, E., and Giovannetti, M., 2009. Changes in soil aggregation and glomalin related soil protein content as affected by the arbuscular mycorrhiza fungal species (*Glomus mosseae*) and (*Glomus intraradices*). Soil Biology and Biochemistry 41: 1491-1496.

Bradford, J.M., 1986. Penetrability. In: klute, A. Methods of soil analysis. Part 1. Soil Science Society of America, Madison. WI, pp. 468-472.

Brenton, S., Wendling, L., and Feng, G., 2012. Surface characteristics of a windblown soil altered by tillage intensity during summer fallow. Aeolian Research 5: 1-7.

Candido, V., Campanelli, G., D'Addabbo, T., Castronuovo, D., Perniola, M., and Camele, I., 2015. Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes. Scientia Horticulturae 187: 35-43.

Chamizo, S., Serrano-Ortiz, P., López-Ballesteros, A., Sánchez-Cañete, E.P., Vicente-Vicente, J.L., and Kowalski, A.S., 2017. Net ecosystem CO_2 exchange in an irrigated olive orchard of SE Spain: Influence of weed cover. Agriculture, Ecosystems and Environment 239: 51-64.

Cook, R.J., and Hauguland, W.A., 1991. Wheat yield depressing associated with conservation tillage caused by root pathogens in the soil, hot phytotoxins from the straw. Soil Biology and Biochemistry 23: 1125-1133.

Davis, M.R., Alves, B.J.R., Karlen, D.L., Kline, K.L., Galdos, M., and Abulebdeh, D., 2018. Review of soil organic carbon measurement Protocols: A U.S. and Brazil comparison and recommendation. Sustainability 10: 53.

Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Oğuz, and Akköprü, A., 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and whey applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions 1—Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Earth Science 122: 14-24.

Ercoli, L., Lulli, L., Marryotti, M., Masoni, A., and Arduini, I., 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. European Journal of Agronomy 28: 138-147.

Fernandez-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A., and Karlen, D.L., 2009. No tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. Soil and Tillage Research 106: 29-35.

García-Díaz, A., Marqués, M.J., Sastre, B., and Bienes, R., 2018. Labile and stable soil organic carbon and physical improvements using groundcovers in vineyards from central Spain. Science of the Total Environment 621: 387–397.

Garcia-Franco, N., Martinez-Mena, M., Goberna, M., and Albaladejo, J., 2015. Changes in soil aggregation and microbial community structure control carbon sequestration after afforestation of semiarid shrublands. Soil Biology and Biochemistry 87: 110–121

Ghanta, R., Dutta, S., and Mukhopadhyay, R., 2013. Investigation on arbuscular mycorrhiza alliances in some threatened medicinal herbs of Burdwan district, West Bengal, India. Journal of Medicinal Plants Research 7(7): 315-

323.
Gill, S.M., 2012. Temporal variability of soil hydraulic properties under different soil management practices. Ph.D. Dissertation University of Guelph, Ontario, Canada.
Gogoi, P., and Singh, R.K., 2011. Differential effect of some arbuscular mycorrhiza fungi on growth of (*Piper longum* L.) (Piperaceae). Indian Journal of Science and Technology 4(2): 119-125.
Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., and Adiguzel, M.C., 2014. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. Catena 118: 195-205.
Grabowski, P.P., Haggblade, S., Kabwe, S., and Tembo, G., 2014. Minimum tillage adoption among commercial smallholder cotton farmers in Zambia, 2002 to 2011. Agricultural Systems 131: 34–44.
Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M.R., Pirzad, A., and Eini, O., 2015. Some morpho-physiological characteristics of mung bean mycorrhizal plants under different irrigation regimes in field condition. Journal of Plant Nutrition 38(11): 1754-1767.
Halvorson, A.D., Black, A.L., Krupinsky, J.M., and Merrill, S.D., 1999. Dryland winter wheat response to tillage and nitrogen within an annual cropping system. Agronomy Journal 91: 702–707.
Halvorson, A.D., Black, A.L., Krupinsky, J.M., Merrill, S.D., Wienhold, B.G., and Tanaka, D.L., 2000. Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. Agronomy Journal 92: 136-144.
Halvorson, A.D., Wienhold, B.J., and Black, A.L., 2001. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. Agronomy Journal 93: 836–841.
He, Y., Dong, Y., Xiao, S., Peng, Q., Liu, X., and Sun, L., 2013. Effects of nitrogen fertilization on soil microbial biomass and community functional diversity in temperate grassland in Inner Mongolia, China. Clean- Soil, Air, Water 41: 1216–1221.
Hemmat, A., and Eskandari, I., 2004. Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat–chickpea rotation in the northwest region of Iran. Soil and Tillage Research 78: 69-81.
Houshyar, E., and Esmailpour, M., 2020. The impacts of tillage, fertilizer and residue managements on the soil properties and wheat production in a semi-arid region of Iran. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 19: 225–232.
Ilbas, A.I., and Sahin, S., 2005. *Glomus fasciculatum* inoculation improves soybean production. Acta Agriculture Scandinavica 55(4): 287-292
Jabro, J.D., Stevens, W.B., Evans, R.G., and Iversen, W.M., 2009. Tillage effects on physical properties in two soils of the Northern Great Plains. Applied Engineering in Agriculture 25: 377-382.
Kabiri, V., Raiesi, F., and Ghazavi, M.A., 2015. Six years of different tillage systems affected aggregate associated SOM in a semi-arid loam soil from central Iran. Soil and Tillage Research 154: 114–125.
Kihara, J., Bationo, A., Waswa, B., Kimetu, J.M., Vanlauwe, B., Okeyo, J., Mukalama, J., and Martius, C., 2012. Effect of reduced tillage and mineral fertilizer application on maize and soybean productivity. Experimental Agriculture 48(2): 159–175.
Kristensen, H.L., Debosz, K., and Mccarty, G.W., 2003. Short-term effects of tillage on mineralization of nitrogen and carbon in soil. Soil Biology and Biochemistry 35: 979–986.
Lal, R., 1991. Soil structure and sustainability. Journal of Sustainable Agriculture 1: 67-92.
Lapen, D.R., Topp, G.G., Edwards, M.E., and Curnol, W.E., 2004. Combination cone penetration resistance water content instrumentation to evaluated cone penetration-water content relationships in tillage research. Soil and Tillage Research 79: 51-62.
Liang, Y., Nikolic, M., Peng, Y., and Chen, W., 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinization. Soil Biology and Biochemistry 37: 1185-1195.
López-Garrido, R., Madejón, E., León-Camacho, M., Girón, I., Moreno, F., and Murillo, J.M., 2014. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under mediterranean conditions: A case study. Soil and Tillage Research 140: 40‑47.
Lou, Y., Xu, M., Chen, X., He, X., and Zhao, K., 2012. Stratification of soil organic C, N and C: N ratio as affected by conservation tillage in two maize fields of China. Catena 95: 124–130.
Luo, Z., Gan, Y., Niu, Y., Zhang, R., Li, L., Cai, L., and Xie, J., 2017. Soil quality and crop yield under long-term

tillage systems. Experimental Agriculture 53(4): 497–511.

Martínez-Mena, M., Garcia-Franco, N., Almagro, M., Ruiz-Navarro, A., Albaladejo, J., de Aguilar, J.M., Gonzalez, D., and Querejeta, J.I., 2013. Decreased foliar nitrogen and crop yield in organic rainfed almond trees during transition from reduced tillage to notillage in a dryland farming system. European Journal of Agronomy 49: 149‑157.

Mbuthia, L.W., Acosta-Martínez, V., DeBruyn, J., Schaeffer, S., Tyler, D., Odoi, E., Mpheshea, M., Walker, F., and Eash, N., 2015. Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality. Soil Biology and Biochemistry 89: 24–34.

Mc-Vaya, K.A., Buddea, J.A., Fabrizzia, K., Mikhab, M., Ricea, C.W., Schlegelc, A.J., Petersona, D.E., Sweeneyd, D.W., and Thompson, C., 2006. Management effects on soil physical properties in long-term tillage studies in Kansas. Soil Science 70: 434-438.

Mohammad, W., Shah, S., Shehzadi, S., and Shah, S., 2012. Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 12: 715-727.

Montemurro, F., and Giorgio, D., 2005. Quality and nitrogen use efficiency of sunflower grown at different nitrogen levels under mediterranean conditions. Journal of plant Nutrition 28: 335-350.

Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M.D., Faz, Á., and Zornoza, R., 2020. The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. Agricultural Systems 178: 102736.

Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., and Safadoust, A., 2009. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. Soil and Tillage Research 104: 173–179.

Mu, X., Zhao, Y., Liu, K., Ji, B., Guo, H., Xue, Z., and Li, C., 2016. Responses of soil properties, root growth and crop yield to tillage andcrop residue management in a wheat-maize cropping system on the North China Plain. European Journal of Agronomy 78: 32–43.

Narimatsu, K.C.P., De-Mello, L.M., Domingues, L.S., Chioderoli, C., and Lima, R., 2014. Corn productivity in function of surface application of lime in different management systems and cultural preparation. Engenharia and Agricultural Jaboticabal 34(2): 254-262.

O'Kelly, B.C., 2004. Accurate determination of moisture content of organic soils using the oven drying method. Drying Technology 22(7): 1767-1776.

Oberholzer, H.R., Leifeld, J., and Mayer, J., 2014. Changes in soil carbon and crop yield over 60 years in the Zurich Organic Fertilization experiment, following land-use change from grassland to cropland. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 177: 696–704.

Olaoye, J.O., 2002. Influence of tillage on crop residue cover, soil properties and yield components of cowpea in derived savannah ectones of Nigeria. Soil and Tillage Research 64: 179-187.

Pala, M., Haddad, A., and Piggin, C., 2007. Challenges and opportunities for conservation cropping: ICARDA experience in dry areas. pp. 165-182. The Proceedings of the International Workshop on Conservation Agriculture for Sustainable Land Management to Improve the Livelihood of People in Dry Areas.

Palese, A.M., Vignozzi, N., Celano, G., Agnelli, A.E., Pagliai, M., and Xiloyannis, C., 2014. Influence of soil management on soil physical characteristics and water storage in a mature rainfed olive orchard. Soil and Tillage Research 144: 96‑109.

Piggin, C., Haddad, A., Khalil, Y., Loss, S., and Pala, M., 2015. Effects of tillage and time of sowing on bread wheat, chickpea, barley and lentil grown in rotation in rainfed systems in Syria. Field Crops Research 173: 57–67.

Pittelkow, C.M., Linquist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., Van Groenigenc, K.J., Lee, J., Van Gestelc, N., Six, J., Venterea, R.T., and Van Kessel, C., 2020. When does no-till yield more? A global meta-analysis. Agricultural Systems 178: 102736.

Rajput, R.J., 1992. Relationship between N and K in maize. Abstracts of Botany Journal 43: 1693.

Rieger, S., Richner, W., Streit, B., Frossard, E., and Liedgens, M., 2008. Growth, yield, and yield components of winter wheat and the effects of tillage intensity preceding crops, and N fertilisation. European Journal of Agronomy 28: 405–411.

Romaneckas, K., Romaneckienė, R., Šarauskis, E., Pilipavičius, V., and Sakalauskas, A., 2009. The effect of

conservation primary and zero tillage on soil bulk density, water content, and sugar beet growth and weed infestation. Agronomy Research 7: 73-86.

Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., Eldridge, D.J., and Marques, M.J., 2013. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. Catena 104: 153‑160.

Sabia, E., Claps, S., Morone, G., Bruno, A., Sepe, L., and Aleandri, R., 2015. Field inoculation of arbuscular mycorrhiza on maize (*Zea mays* L.) under low inputs: preliminary study on quantitative and qualitative aspects. Italian Journal of Agronomy 10(1): 607.

Seddaiu, G., Iocola, I., Farina, R., Orsini, R., Lezzi, G., and Roggero, P.P., 2016. Long term effects of tillage practices and N fertilization in rainfed mediterranean cropping systems: Durum wheat, sunflower and maize grain yield. European Journal of Agronomy 77: 166–178.

Sekwakwa, O., and Dikinya, O., 2012. Tillage-induced compaction: Effects on physical properties of agricultural loamy soils. Scientific Research and Essays 7: 1584-1591.

Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central of Iran. Soil and Tillage Research Journal 68: 101-108.

Shirani, H., Hajabbasi, M.A., Afyuni, M., and Hemmat, A., 2002. Effect of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil and Tillage Research 68: 101–108.

Simoes, M.P., Belo, A.F., Pinto-Cruz, C., and Pinheiro, A.C., 2014. Natural vegetation management to conserve biodiversity and soil water in olive orchards. The Spanish Journal of Agricultural Research 12: 633–643.

Singh, B.R., and Haile, M., 2007. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) and soil properties. Soil and Tillage Research 94: 55-63.

Singh, Y., Ladha Khind, J.K., and Bueno, C.S., 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-barley rotation. Soil Science Society of America Journal 68: 854-864.

Smith, S.E., Facelli, E., Pope, S., and Smith, F.A., 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant and Soil 326(1-2): 3-20.

Sohrabi, S.S., Fateh, A., Aynehband, A., and Rahnema, A., 2014. Study the effect of residue management and different nitrogen sources on wheat yield. Journal of Agroecology 6(3): 645-655. (In Persian with English Summary)

Sudheesh, M., and Ken, F., 2014. Soil water conservation and nitrous oxide emissions from different crop sequences and fallow under mediterranean conditions. Soil and Tillage Research 143: 123-129.

Sultana, S., Ullah, J., Karim, F., and Asaduzzaman, M.D., 2009. Response of mung bean to integrated nitrogen and weed managements. American Eurasian Journal of Agronomy 2(2): 104-108.

Treseder, K.K., 2008. Nitrogen additions and microbial biomass: A meta-analysis of ecosystem studies. Ecology Letters 11: 1111-20.

Turk, M.A., Tawaha, A.M., and El-Shatnawi, M.K.J., 2003. Response of lentil to plant density, sowing date, phosphorus fertilization and ethephon application in the absence of moisture stress. Journal of Agronomy 189: 1-6.

Wilson, G.W.T., Rice, C.W., Rillig, M.C., Springer, A., and Hartnett, D.C., 2009. Soil aggregation and carbon sequestration are tightly correlated with the abundance of arbuscular mycorrhiza fungi: Results from long-term field experiments. Ecology Letter 12: 452-461.

Wolff, M.W., Alsina, M.M., Stockert, C.M., Khalsa, S.D.S., and Smart, D.R., 2018. Minimum tillage of a cover crop lowers net GWP and sequesters soil carbon in a California vineyard. Soil and Tillage Research 175: 244‑254.

Wolton, W., 2005. Leaf area index and radiation as related to corn yield. Agronomy Journal 65: 459–46.

Wright, A.L., Dou, F., and Hons, F.M., 2007. Soil organic C and N distribution for wheat cropping systems after 20 years of conservation tillage in central Texas. Agriculture, Ecosystems and Environment 121: 736-744.

Zornoza, R., Acosta, J.A., Bastida, F., Domínguez, S.G., Toledo, D.M., and Faz, A., 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. Soil 1: 173‑185.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 739-757

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۷۵۷-۷۳۹

Effects of Different Tillage Systems, Nitrogen Fertilizer Rates, and Mycorrhiza Inoculation on some Soil Physical Properties and Yield of Mung Bean (*Vigna radiata* L.)

B. Lotfi[1], A. Maleki[2*], M. Mirzaeiheydari[3], M. Rostaminiya[4] and F. Babaii[5]

Submitted: 24-12-2020
Accepted: 09-06-2021

Lotfi, B., Maleki, A., Mirzaeiheydari, M., Rostaminiya, M., and Babaii, F., 2022. Effects of different tillage systems, nitrogen fertilizer rates, and mycorrhiza inoculation on some soil physical properties and yield of mung bean (*Vigna radiata* L.). Journal of Agroecology 13(4):739-757.

Introduction

Tillage intensity and tillage system can affect biological, physical, and chemical properties of the soil. Suitable soil management is essential to achieve sustainable agricultural production especially in drought-prone regions. More application of machineries in a tillage system will result in more soil compaction which in turn increases soil bulk density and decreases its air and water permeability. Additionally, it has been well documented that the compact soil hampers the downward growth of the crop roots. The soil with good physical quality will provide aeration and water as well as non-impeditive mechanical resistance for root proliferation. Moldboard plowing is currently applied in around 65% of tillage practices although the agricultural extension services have tried to convince farmers to apply reduced tillage system by replacing moldboard plow with chisel plow to mitigate adverse effects of moldboard plowing especially in arid and semi-arid regions. Conservation tillage practices, especially reduced tillage, have been introduced to Iranian farmers since 1999. Mycorrhiza is the product of an association between a fungus and plant root that enhance the tolerance levels of plants against the drought, salinity and high heavy metal contents. The aim of the present study were to evaluate the effects of tillage systems, nitrogen levels, and mycorrhiza inoculation on yield and yield components of mung bean and soil criteria.

Materials and Methods

The experiment was conducted in Darehshahr research field in two growing seasons (2017 and 2018). The experimental layout was split plot based on a randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of three tillage systems as conventional, conservation and no tillage as main plot, four nitrogen levels including 0% (as control), 33%, 66% and 100% of recommended fertilizer as sub plot, and two levels of mycorrhiza fungi inoculation (Contains arbuscular mycorrhiza fungi of *Glomus mosseae* strains, counting 10^7 to 10^8 (CFU / g.) Prepared by Soil and Water Research Institute) (no symbiosis (as control) and with symbiosis) as sub-sub-plot. Studied traits were yield components (such as 1000-seed weight, No. of seeds per pod, No. of pods per plant), seed yield and harvest index of mung bean and moisture content, cone index and

1- Ph.D. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
5- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University, Ilam Branch, Ilam, Iran.
(*Corresponding Author: maleki97@yahoo.com)
Doi:10.22067/agry.2021.67873.1005

organic carbon percent of soil. For analysis of variance SAS 9.4 was used. All the means were compared according to Duncan test ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results revealed that the highest 1000-seed weight (57.48 g) was obtained from no-tillage and the highest number of seeds per pod (10.64 seeds per pod) and the number of pods per plant (61.04 pods per plant) were obtained from conservation tillage. The highest seed yield was obtained from conservation tillage + application of 100% N fertilizer with 2941 $kg.ha^{-1}$. The highest seed weight, number of seeds per pod, and number of pods per plant were obtained from 66% N fertilizer application. Mycorrhiza inoculation increased harvest index, seed yield and its components. The soil bulk density in the no-tillage system had the highest value. The maximum and the minimum soil moisture contents were observed for non-tillage and conventional tillage systems, respectively. The highest soil cone index (2.25 MPa) was obtained from no-tillage and 66% N fertilizer and the lowest (1.07 MPa) was for conventional tillage system+ without nitrogen application. The highest and the lowest soil organic carbon were related to no-tillage and conventional tillage systems with 0.68% and 0.32%, respectively.

Conclusion

In general, the conservation tillage system+ application of 66% N fertilizer and inoculation with mycorrhiza had a relative advantage impact on yield and related traits. In addition, the soil physical traits and organic carbon content were improved affected as declined tillage systems. The long-term field experiment points out the beneficial impacts of reduced tillage and no tillage systems that, in addition to preserving both soil physical (such as cone index) and chemical criteria (and organic carbon), fertility and biological activity, could increase yield and exhibit a comparable yield over a long-term period as in conventional plough. Currently, there is no mung bean variety appropriate to Iran. Improving some varieties with higher yield which are tolerant to warm climate and water deficiency seems essential to improve the sustainability of local seed production. Investigating into the effect of mung bean tillage and fertilizer consumption on the weed type and density is also suggested for future studies.

Keywords: Bulk density, Cone index, Organic carbon, Symbiosis fungi